

Секция 3.

Обеспечение комплексной безопасности зданий и сооружений в современном строительстве

*Ананьин Михаил Юрьевич,
Ведищева Юлия Сергеевна*

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
НА НАДЕЖНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ
СВОЙСТВА ЛЕГКИХ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ
БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ ЗДАНИЙ**

*Ananin M.,
Vedisheva Y.*


**INFLUENCE OF TEMPERATURE EFFECTS
ON RELIABILITY AND ENERGY PROPERTIES
OF LIGHT CLADDING OF QUICKLY
ASSEMBLED BUILDINGS**

m.y.ananin@ustu.ru

botan1@inbox.ru

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

**23-24 апреля 2014 года
Екатеринбург**



В статье рассмотрено влияние температурных воздействий на надежность и энергосберегающие свойства легких ограждающих конструкций быстровозводимых зданий. Приведены результаты исследования влияния температурных включений на соблюдение санитарно-гигиенических норм. Описано действие температурных нагрузок на напряженно-деформированное состояние ограждающих конструкций здания и элементов крепления сэндвич-панелей к каркасу здания.

The article considers the influence of temperature effects on reliability and energy properties of light cladding of quickly assembled buildings. Consideration the results of studies of the effect of temperature inclusions hygienic and sanitary standards. Described action thermal loads on the stress-strain state of the cladding and mounting elements of sandwich panels to the frame of the building.

Ключевые слова: сэндвич-панель, напряженно-деформированное состояние, деформации, температурные воздействия.

Keywords: sandwich panel, mode of deformation, deformation, temperature effects.

В современном городе безопасность эксплуатации зданий и сооружений должна рассматриваться наряду с энерго- и ресурсоэффективностью принимаемых конструктивных и технологических решений при проектировании и строительстве зданий. При этом высокие темпы строительства современных мегаполисов диктуют необходимость применения новых все более технологичных методов возведения зданий и сооружений, а, следовательно, и использование таких конструктивных решений, которые позволяют в сжатые сроки монтировать возможно большее количество конструкций.

В настоящее время для многих типов как быстровозводимых, так и традиционных зданий в качестве ограждающих конструкций используются сэндвич-панели.

С целью изучения работы панелей во время их монтажа и эксплуатации, повышения энерго- и ресурсоэффективности панелей и снижения их деформативности авторами был проведен ряд исследований теплотехнических и конструктивных свойств сэндвич-панелей.

Как известно, во время эксплуатации здания на ограждающие конструкции действует комплекс силовых и несиловых нагрузок и воздействий. Так, например, к ним относится влияние на деформацию панели разности температур на поверхности обшивок. Сэндвич-панель во время эксплуатации здания подвержена значительным колебаниям температур, в том числе сезонным колебаниям более +150 °C. Это приводит к выгибу панели в сторону более высоких температур, что оказывает влияние на ее напряженно-деформированное состояние и требует учета при расчете панелей [3].

Большой интерес с позиции надежности представляет работа элементов крепления, а именно, самонарезающих винтов, в системе «панель – каркас здания».

Как показывают практические наблюдения за деформацией такой системы, разрушение самонарезающего винта происходит вследствие разрыва тела винта или его вырыва из полки швеллера под действием внешних сил. Кроме того, как показало компьютерное моделирование работы сэндвич-панели, тело самонарезающего винта подвержено деформации изгиба, что может служить накоплению усталостных напряжений при циклическом действии нагрузки.

Данные выводы подтверждает наблюдение за деформациями существующих конструкций: разрушение ограждающих конструкций, выполненных с использованием сэндвич-панелей, происходит вследствие деформации панели, а именно отрыва обшивок панели от утеплителя при достижении предельных прогибов, и разрушения самонарезающих винтов в системе крепления панели к каркасу здания.

В свою очередь, отрыв утеплителя сэндвич-панели от обшивок около опор возникает в результате действия совокупности факторов: собственный вес конструкции и температурные деформации панели при наличии концентрации напряжений в местах изгиба панели из-за нарушения технологии монтажа конструкций.

Температурные деформации панели возникают вследствие нагрева наружной обшивки панели от действия солнечной радиации в дневное время, в результате чего панель выгибается в наружную сторону. При этом около опор сэндвич-панели отсутствует возможность смещения обшивки панели при ее тепловом расширении, что приводит к концентрации напряжений в месте крепления и может повлечь за собой отрыв наружной обшивки панели от утеплителя.

Данное поведение конструкции подтверждается при моделировании крепления сэндвич-панели в программном комплексе. Для выяснения характера работы узла крепления панель моделировалась в двух вариантах: при шарнирном сопряжении панели с полкой ветрового ригеля (для анализа напряженно-деформированного состояния панели в целом) и при запрещении перемещения панели вдоль полки швеллера (для анализа поведения панели около мест крепления ее к каркасу здания).

Результаты предварительных исследований при втором способе запрещения перемещений панели показали, что на наружных обшивках панели на расстоянии от 0,1 м до 0,7 м от края панели возникают дополнительные напряжения, которые отсутствуют при шарнирном закреплении

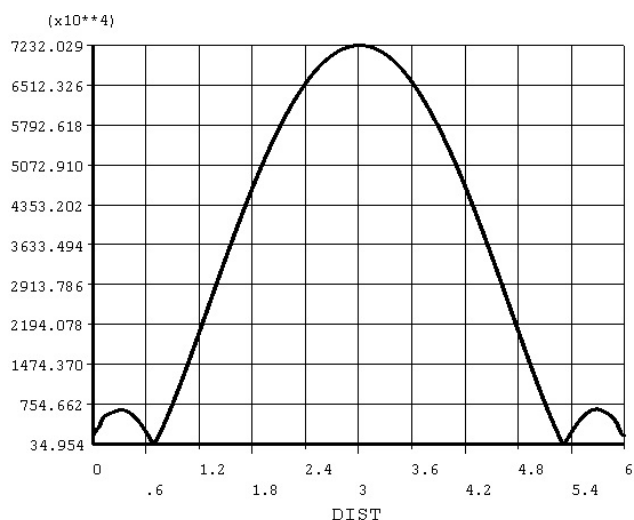


Рис. 1. График зависимости напряжений в наружной обшивке от длины панели

панели (рис. 1). Возникновение этих напряжений объясняется частичной заделкой панели у опоры при креплении ее к конструкциям каркаса здания.

Таким образом, комплексный анализ напряженно-деформированного состояния как самой сэндвич-панели, так и системы крепления ее к каркасу здания важен для обеспечения безопасности эксплуатации современных зданий и сооружений.

При анализе напряженно-деформированного состояния ограждающих конструкций необходимо помнить в том числе и о комфорте пребывания людей в здании. С целью проверки соблюдения санитарно-гигиенических требований внутри помещений в зданиях с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей, авторами был проведен ряд исследований теплотехнических свойств сэндвич-панелей.

Методика и средства проведения исследований подробно описаны в статьях [5, 6, 7]. По результатам численных экспериментов было решено уравнение регрессии многофакторного эксперимента, получены формулы расчета приведенного сопротивления теплопередаче сэндвич-панелей вертикальной и горизонтальной разрезки. С точностью, пригодной для практических расчетов, можно пользоваться следующей формулой для определения приведенного сопротивления теплопередачи сэндвич-панелей как вертикальной, так и горизонтальной разрезки на участке глухой стены:

$$R_{np} = 5,9 - 32 \cdot 10^{-3} d + 10^{-3} B_1 + 0,07 \cdot 10^{-3} B^2 - 72,563 \cdot \lambda, \quad (1)$$

где d – диаметр элементов крепления (болты или самонарезающие винты), мм;

B_1 – шаг постановки элементов крепления по ширине панели, мм;

B_2 – шаг постановки элементов крепления по длине панели, мм;

λ – коэффициент теплопередачи утеплителя, Вт/(м·К).

Для удобства практического применения результатов исследований построены графики зависимости, где n – количество теплопроводных включений (болтов или самонарезающих винтов) (рис. 2).

С целью обеспечения комфортности пребывания в здании и соблюдения гигиенических требований нормативных документов проанализировано температурное поле на внутренней поверхности стеновых сэндвич-панелей, полученное моделированием температурного состояния панели в программном комплексе. Минимальные температуры на внутренней

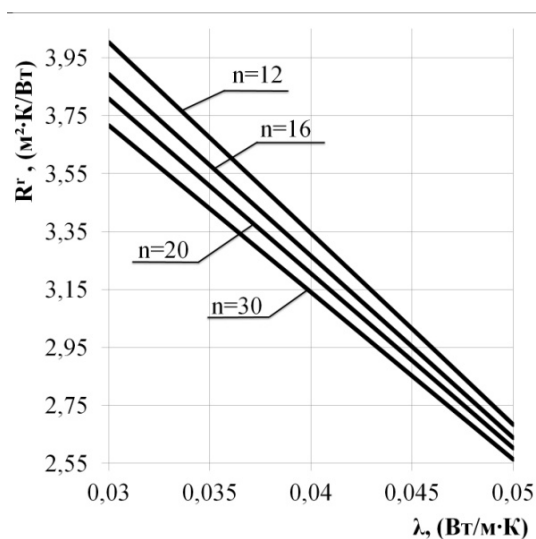


Рис. 2. График зависимости приведенного сопротивления теплопередачи сэндвич-панели от коэффициента теплопередачи утеплителя и количества теплопроводных включений

поверхности панели ($\tau_{\text{int}}^{\text{min}}$) сравнивались с температурой точки росы водяного пара для каждого типа зданий, проверялось соответствие температурного перепада между внутренней поверхностью наружного ограждения и температурой внутреннего воздуха в помещении нормируемому в [2] температурному перепаду. Для удобства практических расчетов на основании решения уравнения регрессии по данным численного эксперимента получена формула расчета минимальных температур на внутренней поверхности панели:

$$\tau_{\text{int}}^{\text{min}} = 21,37_2 - 1,52_7 \cdot d - 24,81_2 \cdot \lambda \quad (2)$$

Анализ температурного поля на внутренней поверхности сэндвич-панелей показал, что для общественных и производственных зданий с сухим и нормальным влажностным режимом, имеющими в качестве ограждающих конструкций сэндвич-панели как вертикальной, так и горизонтальной разрезки, превышен температурный перепад между внутренней поверхностью ограждающей конструкции и температурой внутреннего воздуха в помещении в местах крепления панели к каркасу здания.

По результатам расчета температурного поля сэндвич-панели для иллюстрации влияния теплопроводных включений на теплотехнические характеристики системы «панель - элементы крепления» были построены графики зависимости температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции от координаты в продольном и поперечном сечении панели, проходящем по линии крепления панели к ветровым ригелям и по линии соединения панелей между собой (рис. 3).

Так как превышение температурного перепада приводит к снижению комфорта пребывания людей в здании, необходимо дополнительно утеплять места крепления сэндвич-панели к каркасу здания путем постановки нащельников и дополнительного слоя утеплителя [4] либо крепить панели к каркасу здания при помощи вытяжных заклепок, которые не прорезают панель как самонарезающий винт или болт,

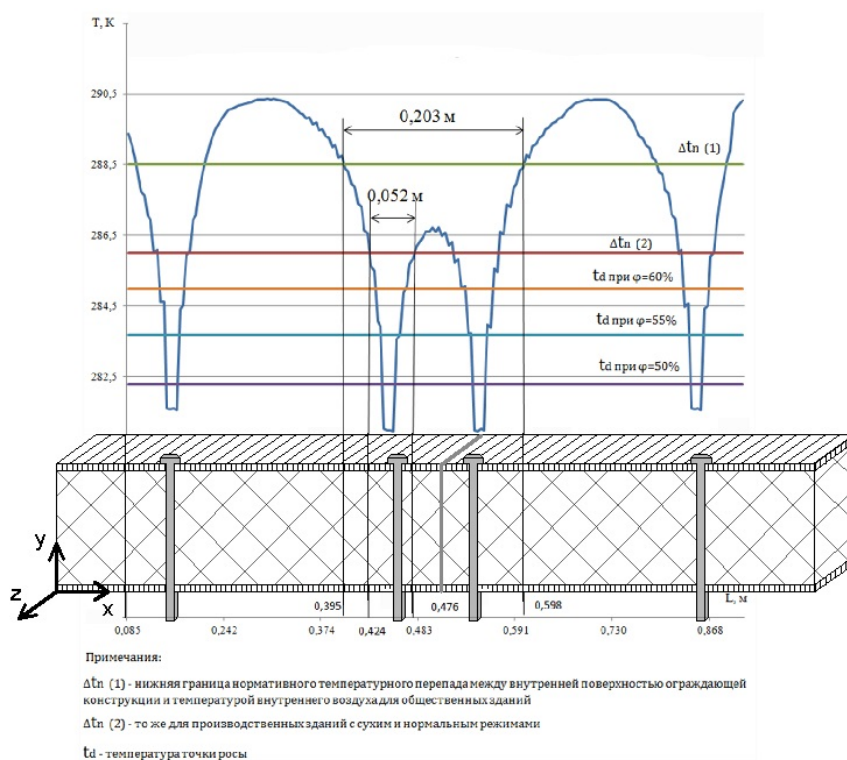


Рис. 3. График распределения температуры на поверхности сэндвич-панели в местах крепления панели к каркасу здания

а крепятся только к нижней плоской обшивке [8].

Один из возможных вариантов решения этого вопроса - использование теплоизоляционных втулок при ввинчивании самонарезающего винта в тело панели (рис. 4). В качестве теплоизоляционной втулки можно применять нейлоновые или пластиковые дюбели. Теплотехнический расчет сэндвич-панели с постановкой пластикового дюбеля в качестве теплоизоляционной втулки

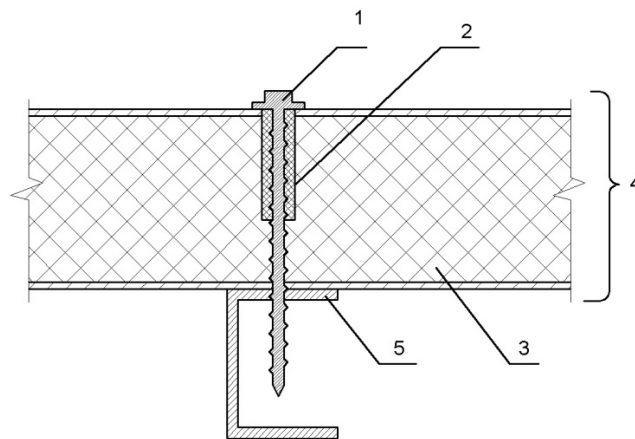


Рис. 4. Вариант утепления места крепления сэндвич-панели к каркасу здания: 1 – самонарезающий винт; 2 – теплоизоляционная втулка; 3 – сэндвич-панель; 5 – элемент каркаса здания

показал, что температурный перепад между внутренней поверхностью ограждающей конструкции и температурой внутреннего воздуха в помещении даже вблизи тела самонарезающего винта или болта не превышает нормируемый по [2] как для промышленных, так и для общественных зданий.

Кроме этого, расчеты показали, что температура на внутренней поверхности ограждающих конструкций оказалась ниже температуры точки росы водяного пара, то есть на поверхности панели возможно выпадение конденсата водяного пара, что приведет к снижению надежности конструкции и снижению срока эксплуатации здания. Коррозионное действие конденсата усугубляет то, что во время монтажа сэндвич-панели при сверлении панели в местах прохождения элементов крепления разрушается цинковое покрытие металлических обшивок. Для исключения коррозии элементов крепления сэндвич-панели к каркасу здания и металлических обшивок панели необходима обработка мест крепления антикоррозионными составами.

Кроме этого, для анализа дополнительных тепловпотерь за счет наличия теплопроводных включений, для панелей горизонтальной и вертикальной разрезки была рассчитана дополнительная плотность теплового потока по формуле:

$$q_{\text{доп}} = \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_{\text{пр}}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R} \quad (3)$$

где R – сопротивление теплопередаче конструкции без теплопроводных включений, вычисляемое по формулам (6) и (7) [3];

t_{int} – внутренняя температуры воздуха;

t_{ext} – наружная температуры воздуха.

Также по известной формуле (11), приведенной в [1] был рассчитан коэффициент теплотехнической однородности, который колеблется в пределах от 0,77 до 0,93 для панелей как

с пенополистирольным, так и минераловатным утеплителем, при креплении панелей самонарезающими винтами и болтами М8, который следует учитывать при расчете теплотехнических параметров ограждающих конструкций.

Анализ значений плотности дополнительного теплового потока и коэффициента теплотехнической однородности стеновых сэндвич-панелей, позволяет сделать вывод о том, что панели горизонтальной разрезки имеют меньшую среднюю плотность дополнительного теплового потока и большие значения коэффициента теплотехнической однородности, что указывает на меньшие потери теплоты через ограждающие конструкции. Таким образом, панели горизонтальной разрезки предпочтительнее для применения с точки зрения энергосбережения. Однако для более точного сравнения разных типов сэндвич-панелей необходим анализ силовых и несиловых воздействий на прочностные и деформативные свойства панелей горизонтальной и вертикальной разрезки с разным шагом крепления.

Наряду с обеспечением безопасной эксплуатации здания и комфортности пребывания в нем людей не менее важна ресурсоэффективность принимаемого конструктивного решения здания.

По результатам исследований выполнены опытно-конструкторские разработки конструкций быстровозводимых зданий, защищенные патентами [9, 10], позволяющие повысить ресурсосберегаемость и надежность эксплуатации зданий и их конструкций.

По данным проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разность температур на поверхности наружной и внутренней обшивки сэндвич-панели оказывает значительное влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции.

2. Разрушение системы крепления сэндвич-панели к элементам каркаса здания происходит вследствие деформаций среза и изгиба тела самонарезающего винта и вырыва его из конструкции.

3. Несоблюдение технологии монтажа сэндвич-панелей приводит к изгибу панели и концентрации напряжений в местах изгиба что, в свою очередь, ведет к последующим деформациям панели во время ее эксплуатации в местах концентрации напряжений.

4. При существующем варианте крепления сэндвич-панелей к каркасу здания не соблюдаются санитарно-гигиенические требования, а именно:

- для общественных и производственных зданий с сухим и нормальным влажностным режимом превышен температурный перепад между внутренней поверхностью ограждающей конструкции в местах ее крепления к каркасу здания и температурой внутреннего воздуха в помещении;

- температура на внутренней поверхности ограждающих конструкций оказалась ниже температуры точки росы водяного пара только при использовании в качестве крепежных элементов болтов М8.

5. При теплотехническом расчете сэндвич-панелей требуется учет коэффициента теплотехнической однородности, величина которого находится в пределах от 0,77 до 0,93.

6. С точки зрения энергоэффективности сэндвич-панели горизонтальной разрезки предпочтительнее панелей вертикальной разрезки.

7. Предложены способы повышения ресурсоэффективности зданий и сооружений.

Библиографический список

1. СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника / Госстрой СССР. М.: 1979, 49 с.
2. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2004, 30 с.
3. Тамплов Ф.Ф. Металлические ограждающие конструкции: (Для зданий, возводимых в суровых климатических условиях). – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние. 1988. 247с.
4. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий / Госстрой России. М.: ФГУП ЦНС, 2001, 320 с.
5. Ананьин М.Ю., Ведищева Ю.С.. Многофакторное численное исследование теплотехнических свойств сэндвич-панелей вертикальной разрезки. //Академический вестник УралНИИпроект РААСН, 2012, №2, С. 80-84
6. Ананьин М.Ю., Ведищева Ю.С.. Численные исследования теплотехнических свойств сэндвич-панелей. // Строительство и образование, 2011, №14, С. 34-39
7. Ведищева Ю.С. Результаты многофакторного численного исследования теплотехнических свойств стеновых сэндвич-панелей вертикальной и горизонтальной разрезки. // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы I Международной (VII Всероссийской) конференции. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2012, С. 309-315
8. Туснина О. А.. Соединения кровельных сэндвич-панелей с тонкостенными гнутыми прогонами, выполняемые на вытяжных заклепках. // Промышленное и гражданское строительство. - 2013. - № 3. - С.14-16
9. Водосборная панель : пат. 106638 Рос. Федерация : МПК51 Е 04 В 7/22 / М.Ю. Ананьин, Ю.С. Ведищева ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» - № 2010154335/03 ; заявл. 29.12.2010 ; опубл. 20.07.2011, Бюл. № 20.
10. Опорный узел сборно-разборного здания : заявка 2013146720 Рос. Федерация ; заявл. 18.10.2013 г.